

PEMANFAATAN METODA JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACK PROPAGATION* PADA ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN TERHADAP KEMIRINGAN SISI POTONG HASIL PEMOTONGAN DENGAN LASER CO₂

Sally Cahyati¹⁾ dan Suroso²⁾

ABSTRACT

The weakness of a laser cutting edge's product is tapering form. Sometime tapering is an unwanted performance product and need finishing processes to eliminate its. Setting of parameters cutting can minimize tapering. A modeling of process is needed to represent the relationship influence of each parameter cutting. But there are difficulties to represent them to be mathematical models. The solution for this case is use one of Artificial Neural Network (ANN) method what is called Back Propagation. This is an appropriate method to process input – output data to be a model process. The results show that the tapering is significantly influenced by the parameters process, the nozzle speed and gas pressure, having the most significant effects.

Kata kunci : *Tapering, Laser, ANN*

PENDAHULUAN

Teknologi laser saat ini sudah sedemikian pesat dan digunakan hampir disegala bidang, seperti dibidang manufaktur, medis, seni, transaksi perdagangan dan percetakan. Walaupun ada berbagai jenis laser yang ada dipasaran, namun dibidang manufaktur yang seringkali dijumpai adalah Laser CO₂. Hal ini disebabkan dayanya yang relatif besar sehingga pemanfaatannya lebih fleksibel dapat digunakan untuk pemotongan pada material lembaran tipis maupun pada material yang agak tebal. Material untuk medium pembentukan sinar lasernya yaitu gas CO₂, N₂ atau O₂, dan H₂ juga relatif mudah diperoleh dan tidak begitu mahal. Laser CO₂ tersebut dapat digunakan untuk melakukan proses pemotongan kontur, proses pembuatan

lubang (*hole piercing*), proses pengeboran (*drilling*), dan proses pengelasan.

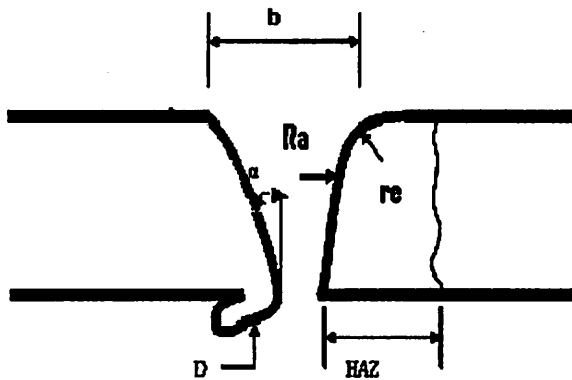
Beberapa parameter proses pemotongan laser diantaranya adalah daya laser, kecepatan nozel, tekanan gas, dan jenis gas potong dan ketebalan pelat. Menurut Gropp, parameter-parameter ini akan mempengaruhi kualitas hasil pemotongannya. Standar Jerman DIN 2310 bagian 5 memperkenalkan beberapa kuantitas hasil pemotongan Laser seperti terlihat pada Gambar 1. Dua kelas kualitas dibedakan berdasarkan harga dari kekasaran permukaannya dan kemiringan permukaan potongnya [1].

Pada beberapa produk khususnya produk yang presisi, kemiringan tidak dikehendaki sehingga perlu dilakukan suatu upaya minimasi kemiringan. Upaya ini akan dimulai dengan

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

²⁾ Peneliti PRSG – BATAN

mencari pemodelan perhitungan hubungan input dengan outputnya.



Ket:

- B : Lebar celah mm
- Ra : Kekasaran permukaan
- α : sudut kemiringan dalam celah
- re : radius sisipotong
- D : Dross
- HAZ : Daerah yang Dipengaruhi Panas

Gambar 1. Kriteria yang digunakan untuk menggambarkan kualitas hasil pemotongan laser [1]

Pemodelan hubungan input (parameter proses) dan output dipertimbangkan sebagai suatu gambaran yang abstrak dari keterkaitan sebab dan akibat dari proses transformasi input menjadi *output* [2]. Dengan pemodelan ini akan diketahui berapa bobot pengaruh dari masing-masing parameter pemotongannya terhadap terjadinya kemiringan. Pemodelan ini merupakan penyelesaian dari kesulitan dalam memperoleh perumusan matematisnya.

Penelitian ini akan difokuskan untuk menjawab pertanyaan “Bagaimana model hubungan *input* (parameter pemotongan) dan *output* (kemiringan sisi potong pada produk) proses pemotongan dengan Laser?. Dan bagaimana pengaruh *input* tersebut terhadap *output*-nya?”

TINJAUAN PUSTAKA

Laser

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) adalah suatu sumber radiasi yang memancarkan karakteristik sinar radiasi elektromagnetik diantara panjang gelombang ultraviolet dan infrared. Tidak semua laser memancarkan radiasi yang dapat dilihat oleh mata manusia (batas penglihatan manusia antara 400-750 nm).

Laser mempunyai komponen-komponen yang memungkinkan terbentuknya suatu sinar laser, yaitu :

1. Medium Laser

Medium laser adalah suatu material dalam bentuk atom-atom, molekul-molekul, atau ion-ion yang dibangkitkan dengan suatu energi sehingga dapat memancarkan suatu sinar laser. Medium laser dari laser CO₂ adalah campuran gas antara gas N₂, CO₂, dan He. Gas CO₂ berfungsi sebagai medium laser aktif, gas N₂ dibutuhkan sebagai pembangkit energi atom CO₂, sedangkan gas He digunakan untuk pengeluaran panas / pendingin.

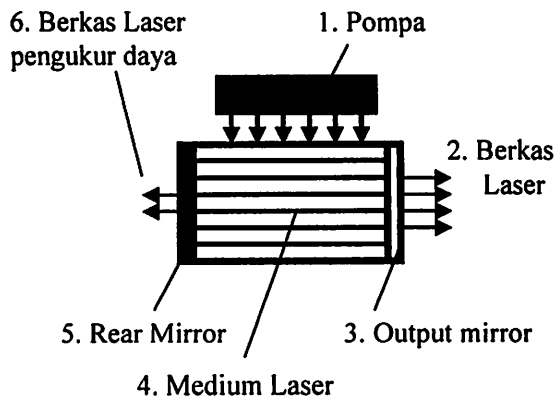
2. Sistem pompa

Pompa sebagai sumber energi dari sinar laser, yang berfungsi untuk membangkitkan atom-atom ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menggunakan frekuensi yang tinggi sekitar (13,56 MHz).

3. Resonator

Resonator merupakan tempat terbentuknya sinar laser. Pada resonator ini medium laser diletakan diantara dua buah cermin, yaitu *rear mirror* dan *output mirror*. Susunan kedua cermin mempunyai kemampuan untuk memastikan gelombang sinar dipancarkan dalam arah yang benar. Pada *rear mirror*, sinar laser dipantulkan, sedangkan pada *output mirror* 40-50% dari

sinar laser itu akan dipancarkan keluar dari resonator.

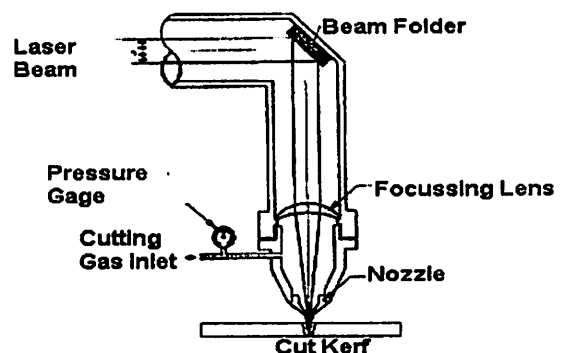


Gambar 2. Komponen laser [1]

Laser dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelas berdasarkan medium yang digunakan untuk menghasilkan berkas sinar. Bahan ini bisa berbentuk padat, cair, gas dan semi konduktor. Jenis-jenis laser, yaitu :

1. *Solid state laser* adalah jenis laser yang dihasilkan karena pantulan dari warna yang dihasilkan oleh kristal, salah satunya asalah laser *ruby*
2. *Dye laser* adalah sejenis laser yang terbuat dari cairan berwarna yang akan menghasilkan berkas laser jika diberi energi oleh kilau lampu atau laser lainnya.
3. *Gas laser* adalah jenis laser dengan medium gas campuran. Diantaranya adalah laser He-Ne, laser Ar dan laser CO_2 .
4. *Semi conductor atau Diode laser* umumnya berukuran kecil dan biasa terdapat pada perangkat elektronik seperti VCD, printer, atau alat komunikasi.

sehingga menyebabkan terjadinya medan listrik dalam medium laser. Ketika jumlah energi yang dibutuhkan untuk terjadinya pembangkitan (eksitasi) sinar laser telah mencukupi, maka molekul dari CO_2 akan melepaskan energi dalam bentuk foton. Foton-foton tersebut akan mengalami penguatan sehingga mulai terbentuk sinar laser yang akan direfleksikan melalui lensa. Melalui daya yang tinggi, material tersebut dipanaskan, kemudian mencair dan ada yang menguap. Dalam pemotongan material tersebut digunakan gas O_2 atau gas N_2 untuk menghilangkan material yang meleleh, gas O_2 atau gas N_2 ini dipancarkan bersama-sama dengan sinar laser keluar dari *nozzle* Sehingga material tersebut dapat terpotong. Gas potong O_2 mempunyai sifat membakar benda kerja saat terjadi pemotongan, pemotongan dengan gas O_2 terjadi akibat reaksi eksotermik antara oksigen dengan material. Pemotongan dengan gas O_2 disebut juga *flame cutting*. Sedangkan gas potong N_2 mempunyai sifat melebur benda kerja saat terjadi pemotongan, pemotongan dengan gas N_2 terjadi karena energi dari sinar laser itu sendiri. Pemotongan dengan gas N_2 disebut juga *fusion cutting*.



Gambar 3. Proses Pemotongan dengan Laser [1]

Proses Pemotongan pada Laser CO_2

Proses Pemotongan dengan laser CO_2 adalah campuran dari gas CO_2 , N_2 dan He diberi energi dengan frekuensi yang tinggi

Jaringan Syaraf Tiruan

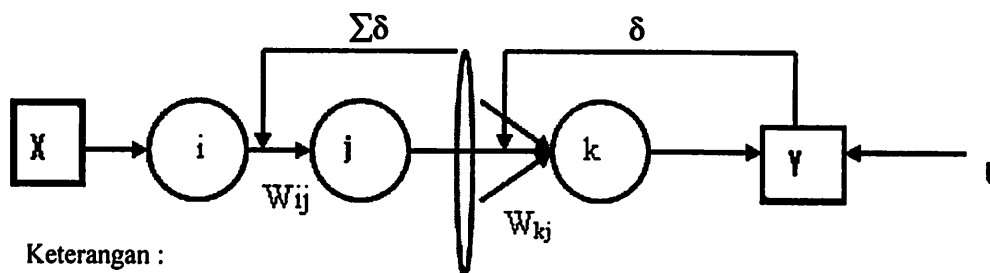
Jaringan syaraf tiruan adalah sebuah teknik untuk pemrosesan informasi dan sangat efektif digunakan untuk membuat model

perhitungan dalam pemecahan permasalahan yang kompleks sehingga sukar diperoleh persamaan matematisnya. Prinsip kerja jaringan syaraf tiruan meniru pola kerja dari jaringan syaraf manusia yang mempunyai kemampuan belajar dari contoh. Jaringan syaraf tiruan terdiri dari tiga bagian fungsi utama yaitu unit, penghubung dan pembobot. Unit berfungsi untuk menerima input, melakukan penjumlahan setelah dilakukan pembobotan pada input, dan menentukan nilai aktivasi. Setelah dibuat arsitektur jaringannya pada Gambar 4, kemudian dilakukan pembelajaran dengan melakukan iterasi menggunakan pola input (X_1, \dots, X_n)-output (Y) untuk menentukan nilai pembobotnya (W_{ij} , W_{kj}).

Jaringan syaraf tiruan dapat menangani *input-output* dan hubungan parameter dalam proses pemesinan. Kemampuan belajar dari hubungan *non linear* dalam suatu operasi pemotongan tanpa harus memasuki kompleksitas matematisnya atau asumsi utama dalam bentuk hubungan antara input, parameter pada proses dan *output* (sebagaimana pada hubungan linier, kuadratik, polinomial tingkat tinggi, dan eksponensial) menjadikan jaringan

syaraf tiruan merupakan suatu alternatif pilihan yang menarik bagi peneliti untuk memodelkan proses-proses pemotongan [3,4].

Kecerdasan dari sebuah jaringan syaraf tiruan muncul dari sekumpulan perilaku yang disebut syaraf buatan dan proses pengambilan pengetahuan dari kumpulan data input dan *output* [3]. Zang and Huang mendiskusikan teknik-teknik proses pemodelan jaringan syaraf tiruan dan potensi aplikasinya [4]. Pemakaian dari JST pada pemantauan proses-proses pemotongan logam pertamakali dikenalkan oleh Rangwala dan Dornfeld [5]. Mereka menggunakan jaringan syaraf BP untuk pengklasifikasian ketajaman dan keausan pahat pada proses bubut. Coit [6] mempertimbangkan aspek praktis dari pembangunan dan validasi model-model jaringan syaraf tiruan dan Viharos [7] memperlihatkan pengontrolan dan pengawasan suatu proses pemesinan. Beberapa aplikasi dari jaringan syaraf tiruan berbasis pemodelan hubungan input-output untuk proses pemesinan juga dilaporkan dibeberapa jurnal. Jaringan Syaraf *Back Propagation* yang diusulkan oleh Rumelhart [8], telah sukses diaplikasikan oleh Jain [9], and Feng untuk



Keterangan :

- X : input
- Y : output
- i : unit input
- k : unit output
- j : unit tersembunyi
- W_{ij} : nilai pembobot dari unit input i ke unit tersembunyi j
- W_{jk} : nilai pembobot dari unit tersembunyi j ke unit output k
- δ : error
- $\Sigma\delta$: jumlah error

Gambar 4. Proses Penentuan Pembobotan *Back Propagation* [1]

pemodelan sebuah proses pemesinan *super alloy* dengan tipe pemakanan perlahan, prediksi dari besarnya penghilangan material dan parameter kekasaran permukaan dari pemesinan menggunakan AJM [10], dan sebuah operasi pemesinan *honing* pada silinder mesin [11].

TATAKERJA

Alat dan Spesimen Penelitian

Percobaan ini akan dilakukan dengan menggunakan mesin laser potong CNC Trumpf dengan tipe TC L 3030 yang menggunakan sistem pengontrol Siemens Sinumerik 840 D dan daya maksimum sebesar 3200W.

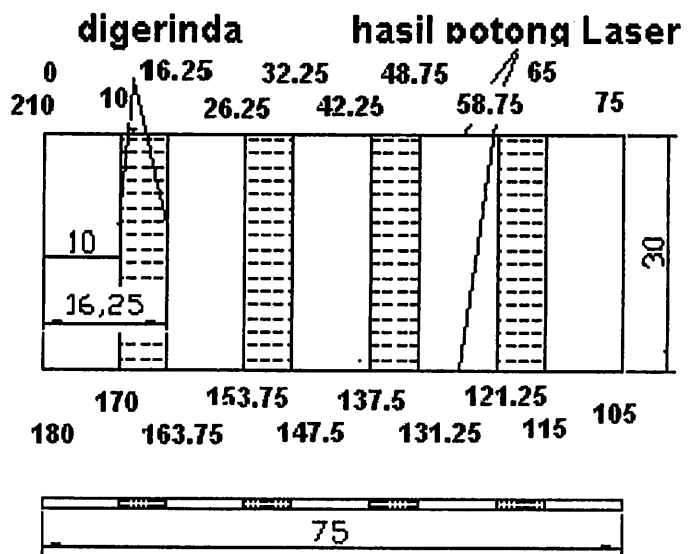
Material yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *Stainless Steel* (SUS 1.4302), dengan kekerasan material 90 BHN, panas spesifik 500j/kg.K, dan temperatur leleh material 1400°C. Material dipotong dengan laser menjadi spesimen yang berukuran 30 mm X 75 mm kemudian spesimen tersebut dipotong lagi dengan menggunakan mesin gerinda menjadi 5 bagian menjadi ukuran 30 mm X 15 mm seperti pada Gambar 2. Ketebalan material benda kerja disiapkan 4 buah, dimana 2 buah spesimen dengan ketebalan 1,2 dan 2 mm dipotong dengan menggunakan gas O₂. Sedangkan 2 buah spesimen yang mempunyai ketebalan 1,2 dan 2 mm lainnya akan dipotong dengan menggunakan gas N₂.

Setelah spesimen selesai dipotong diukur kemiringannya (*tapering*) dengan menggunakan profile proyektor tipe PJ-3005D, Mitutoyo yang mempunyai *digital protactor* dengan daerah ukur ± 370°, resolution : 0,01° dan pembesaran 10x. Ketelitian pada bentuk kontur ± 0,1 % atau kurang dan pada permukaan ± 0,15 % atau kurang.

Arsitektur Jaringan Syaraf *Back Propagation*

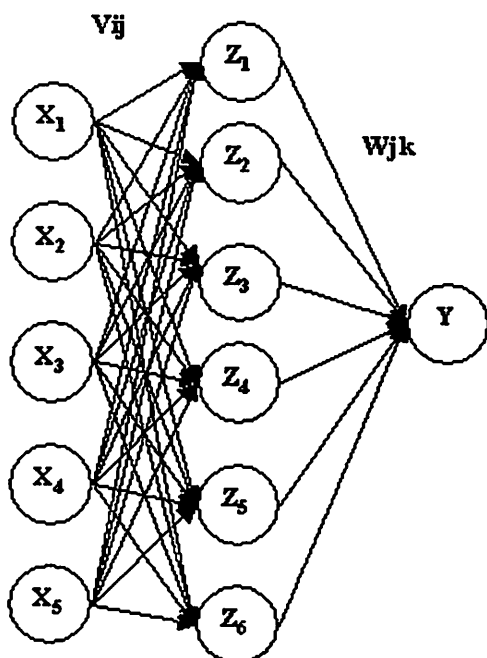
Jaringan syaraf tiruan yang digunakan pada penelitian ini adalah jaringan syaraf *Back Propagation* (BP). Jaringan syaraf BP merupakan suatu algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah pembobot-pembobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma BP menggunakan penyimpangan *output* untuk mengubah pembobot-pembobotnya dalam arah mundur dan untuk mendapatkan penyimpangan tersebut tahap perambatan maju harus dikerjakan terlebih dulu. Pada saat perambatan maju, neuron-neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang dapat dideferensiasikan seperti *sigmoid* biner yaitu :

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^x}$$



Gambar 5. Spesimen Stainless steel 1 dengan ketebalan 1,2 mm, gas O₂

Arsitektur dari pemodelan yang akan digunakan pada penelitian ini terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan input, lapisan tersembunyi dan lapisan *output*. Lapisan input terdiri lima komponen yaitu daya, tekanan gas, kecepatan nozel, ketebalan material benda kerja, dan jenis medium gas (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5). Lapisan tersembunyi terdiri dari enam komponen yaitu Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 dan Z_6 . Lapisan output terdiri dari satu komponen yaitu Y . Pembobot dari lapisan input ke lapisan tersembunyi diwakili oleh V_{ij} dimana i adalah indeks dari lapisan input dan j adalah indeks lapisan tersembunyi. Pembobot dari lapisan tersembunyi ke lapisan output W_{jk} dimana k adalah indeks lapisan output. Rancangan arsitektur jaringan syaraf tiruan yang akan dibuat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan *Back Propagation*.

Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan *Back Propagation*

- Inisialisasi pembobot

- *While stopping condition is false*
 - Setiap pasang training data
 - *Hitung arah maju dari input*
 - *Hitung dan propagasi error*
 - *Perbarui pembobot*
 - *End*
 - *Test stopping condition*
- *End*

Hitung arah maju dari input

- Set aktivasi pada input unit: $x_i = s_i, i=1, \dots, n$
- Untuk setiap unit tersembunyi $Z_j, j=1, \dots, p$
 - Hitung

$$Z_{inj} = v_{oj} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij}$$

- Masukkan ke dalam fungsi aktivasi $Z_j = f(Z_{inj})$
- Kirimkan Z_j ke setiap unit output
- Untuk setiap unit output $Y_k, k=1, \dots, m$
 - Hitung

$$Y_{ink} = w_{ok} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk}$$

- Masukkan ke dalam fungsi aktivasi $Y_k = f(Y_{ink})$

Hitung dan propagasi error

- Untuk setiap unit output $Y_k, k=1, \dots, m$
 - Hitung nilai error :

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{ink})$$
 - Hitung nilai koreksi pembobot & Bias:

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j$$
- Untuk setiap unit tersembunyi $Z_j, j=1, \dots, p$
 - Hitung

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk}$$

Tabel 1. Data Masukan Parameter Pemotongan Laser CO₂.

No	Parameter	I1	I2	I3	I4
1	Daya (watt)	1200	3200	1200	3200
2	Tekanan Gas(Bar)	4	14	4.5	15
3	Kecepatan Nozel (m/min)	6.4	8.3	5	6.8
4	Ketebalan material(mm)	1.2	1.2	2	2
5	Jenis Gas	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂

- o Hitung nilai error :

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j})$$

- o Hitung nilai koreksi pembobot & Bias :

$$\Delta v_{ij} = \alpha \delta_j x_i$$

Perbarui pembobot

- Untuk setiap unit output Y_k, k=1,..., m

$$w_{jk}(new) = w_{jk}(old) + \Delta w_{jk}$$

- Untuk setiap unit tersembunyi Z_j, j=1, .., p

$$v_{ij}(new) = v_{ij}(old) + \Delta v_{ij}$$

PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Data input yang berupa parameter pemotongan yang digunakan untuk membuat specimen percobaan di-set pada empat kondisi pemotongan I1, I2, I3, dan I4 seperti yang terlihat pada Tabel 1. Parameter ini kemudian digunakan dalam pemotongan spesimen.

Setelah diperoleh spesimen kemudian taper sisi potong yang terbentuk pada keempat jenis pemotongan tersebut diukur *tapering*-nya sebanyak 5 kali dan dirata-ratakan dan diperoleh 4 x 21 = 84 buah data untuk tapering untuk diolah seperti terlihat pada Tabel 2. Dari 84 data yang diperoleh akan diambil 2/3 nya atau 56 buah data untuk digunakan proses pembelajaran dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *Back Propagation*, sedangkan 1/3 data lainnya atau 28 akan digunakan untuk data proses validasinya.

Tabel 2. Data Rata-Rata Tapering Hasil Pengukuran Benda Ukur

No	Jarak Pemotongan Laser pada benda ukur (mm)	Taper rata2 BU11 (min)	Taper rata2 BU12 (min)	Taper rata2 BU13 (min)	Taper rata2 BU14 (min)
1	0.00	62.2	59.2	51.6	62,8
2	10.00	61.6	62.6	53.8	60,2
3	16.25	63.8	52.0	49.4	50.0
4	26.25	61.8	49.0	42.6	52,8
5	32.50	62.2	53.6	43.8	46,6
6	42.50	66.6	42.2	44.6	42,4
7	48.75	56.6	56.4	40.4	71,4
8	58.75	62.6	48.8	43.2	64.0
9	65.00	66.2	50.2	41.6	75.0
10	75.00	63.2	42.6	46.2	62,6
11	105.00	56.8	47.4	48.0	62,4
12	115.00	55.2	46.4	48.6	60,4
13	121.25	48.2	53.2	40.8	55,4
14	131.25	45.6	44.2	52.8	50,2
15	137.50	45.4	49.0	44.4	61.0
16	147.50	50.6	43.0	56.0	59,2
17	153.75	53.6	62.8	35.4	68,6
18	163.75	52.8	64.2	44.4	68,4
19	170.00	54.6	53.2	43.6	67,4
20	180.00	56.2	53.6	54.6	73,8
21	210.00	62.8	58.8	53.6	61,6

Sebuah pemrograman berbasis *Visual Basic* digunakan untuk melakukan iterasi, Jumlah lapisan, jumlah komponen *input-output*, jumlah iterasi, laju percepatan pembelajaran, besar momentum dan nilai eksponensial dari persamaan aktivasi dimasukkan sebagai informasi input. Setelah dilakukan iterasi

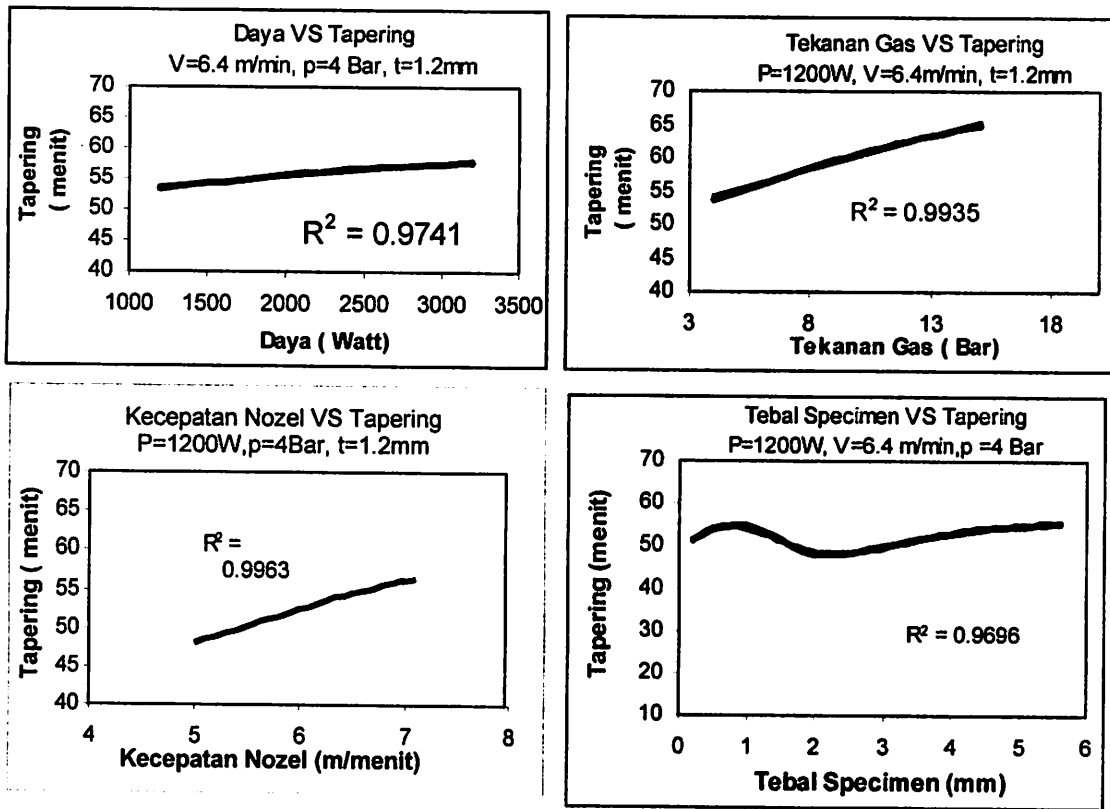
Tabel 3. Nilai Kebenaran Test Validasi Pembobot Jaringan Syaraf Tiruan

No	Input Test Validasi						Output Validasi JST	Nilai Kebenaran (%)
	Daya (Watt)	Tek. Gas (Bar)	Kec. Gas (m/mnt)	Tebal Mat. (mm)	Jenis Gas $N_2=1, O_2=0$	Taper (mnt)	Taper (mnt)	
1	1200	4	6.4	1.2	0	45.4	53.71	84.5
2	1200	4	6.4	1.2	0	50.6	53.71	94.2
3	1200	4	6.4	1.2	0	53.6	53.71	99.8
4	1200	4	6.4	1.2	0	52.8	53.71	98.2
5	1200	4	6.4	1.2	0	54.6	53.71	98.3
6	1200	4	6.4	1.2	0	56.2	53.71	95.3
7	1200	4	6.4	1.2	0	62.8	53.71	83.0
8	3200	14	8.3	1.2	1	49.0	54.94	89.2
9	3200	14	8.3	1.2	1	43.0	54.94	78.3
10	3200	14	8.3	1.2	1	62.8	54.94	85.6
11	3200	14	8.3	1.2	1	64.2	54.94	83.1
12	3200	14	8.3	1.2	1	53.2	54.94	96.8
13	3200	14	8.3	1.2	1	53.6	54.94	97.6
14	3200	14	8.3	1.2	1	58.8	54.94	92.9
15	1200	4.5	5	2	0	44.4	47.42	93.6
16	1200	4.5	5	2	0	56.0	47.42	81.9
17	1200	4.5	5	2	0	35.4	47.42	74.6
18	1200	4.5	5	2	0	44.4	47.42	93.6
19	1200	4.5	5	2	0	43.6	47.42	91.9
20	1200	4.5	5	2	0	54.6	47.42	84.9
21	1200	4.5	5	2	0	53.6	47.42	86.9
22	3200	15	6.8	2	1	61.0	65.71	92.8
23	3200	15	6.8	2	1	59.2	65.71	90.0
24	3200	15	6.8	2	1	68.6	65.71	95.6
25	3200	15	6.8	2	1	68.4	65.71	95.4
26	3200	15	6.8	2	1	67.4	65.71	97.4
27	3200	15	6.8	2	1	73.8	65.71	87.7
28	3200	15	6.8	2	1	61.6	65.71	93.7
Nilai Kebenaran Rata-rata								86.5

pelatihan pada 56 data sebanyak 2500 kali diperoleh nilai dari masing-masing pembobot. Hasil iterasi yang diambil adalah yang mempunyai harga kesalahan (*error*) terkecil yaitu 8.896×10^{-3} . Harga kesalahan terkecil ini diperoleh dari nilai laju pembelajaran 0,7, momentum 0,3, dan nilai eksponensial fungsi aktivasinya 2. Validasi untuk nilai pembobot dilakukan dengan menggunakan 28 data sisanya. Hasil dari Validasi ini kemudian dicari

nilai kebenarannya dengan cara membandingkan harga tapering dari data input test validasi dengan data output tapering yang diperoleh setelah dilakukan test validasi. Nilai kebenaran dari hasil validasi pembobot jaringan syaraf tiruan dapat dilihat pada Tabel 3.

Nilai kebenaran rata-rata hasil validasi pembobot jaringan syaraf tiruan diperoleh 86.5%, ini berarti pemodelan/pola jaringan syaraf tiruan yang diambil valid dan dapat



Gambar 7. Pengaruh parameter pemotongan Laser terhadap tapering sisi potong produk.

digunakan dalam perhitungan-perhitungan selanjutnya. Pengaruh dari masing-masing parameter pemotongan dengan tapering yang dihasilkan kemudian dapat dilihat dengan memasukkan besar parameter yang ingin dianalisis pada beberapa variasi nilai, sedangkan besar parameter lainnya dianggap konstan. Besar tapering yang diperoleh setelah dilakukan iterasi pada jaringan syaraf tiruan kemudian dihubungkan dengan besar perubahan dari parameter yang sedang dianalisis dan dibuat grafiknya seperti yang terlihat pada Gambar 7.

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa kenaikan pada daya, tekanan gas dan kecepatan nozel akan menaikkan *tapering* sisi hasil pemotongan. Kenaikan ketebalan material benda kerja ternyata tidak menimbulkan perbedaan *tapering* yang signifikan, perubahan

tapering hanya pada kisaran 10' sehingga dapat dikatakan ketebalan tidak memberikan pengaruh yang signifikan kepada perubahan *tapering*. Perbedaan pemakaian gas O_2 atau N_2 menghasilkan *tapering* dengan besar yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan pemakaian jenis gas tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan *tapering* yang terjadi. Perbedaan pemakaian gas lebih berdasarkan pada kesesuaian jenis material benda kerja yang akan dipotong apakah harus dilakukan dengan tipe pemotongan *flame* atau pemotongan fusi.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini pemodelan perhitungan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *back propagation* untuk

mengetahui keterkaitan input (daya, tekanan gas, kecepatan nozel, ketebalan material benda kerja, dan jenis gas) dengan output (*tapering*) yang diusulkan, dapat diterima dengan nilai kebenaran rata-rata sebesar 86.5%. Parameter yang memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan besarnya *tapering* adalah kecepatan nozel dan tekanan gas. Optimasi parameter pemotongan dengan laser untuk menghasilkan harga *tapering* yang paling minimal selanjutnya akan lebih difokuskan kepada kedua parameter tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gropp A, Hutfless, J., Schubert S., Geiger M., (1995). *Laser Beam Cutting*, Optical and Quantum Electronics Journal, vol. 27, pp 1257-1271.
2. Markos, S., Viharos, Zs.J., Monostori, L. (1998). *Quality-Oriented, Comprehensive Modelling of Machining Processes*, 6'th ISMQC IMEKO Symposium on Metrology for Quality Control in Production, pp.67-74.
3. Petri, K. L., Billo, R. E., & Bidanda B. (1998). *A Neural Network Process Model for Abrasive Flow Machining Operations*. Journal of Manufacturing Science, Vol. 17, No.1, pp.52-64.
4. Zang, H. C., & Huang, S. H. (1995). *Application of Neural Network in Manufacturing A State of Art Survey*. International Journal of Production Research, Vol. 33, No.3, pp. 705-728.
5. Rangwala, S. Dornfeld. D.A. *Integration of Sensors via Neural Networks for Detection of Tool Wear States Intelligent and Integrated Manufacturing Analysis and Synthesis ASME WAM*, p. 1090-120.
6. Coit D. W., Jackson, B.T., & Smith, A. E. (1998). *Static Neural Network Process Models: Considerations and Case Studies*, International Journal of Production Research, Vol. 36, No.11, 2953-2967.
7. Viharos Zs. J, Monostori L., Markos S. *Selection of input and output variables of ANN based modeling of cutting processes, Proceedings of the X. Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems of CIRP, Poland, 1999*, pp. 121-131.
8. Rumelhart, D. E., Hilton, G. E., & Williams, R. J. (1986). *Learning Representations by Back-Propagating Errors*. Nature, Vol. 323, No. 9, pp. 533-536.
9. Jain, R.K., Jain, V.K., Kalra, P.K. (1999). *Modelling of Abrasive Flow Machining Process: A Neural Network Approach*, Wear, Vol. 231, pp.242-248.
10. Feng, C. X.(Jack), & Wang, X. (2002) *Development of Empirical Models for Surface Roughness Prediction in Finish Turning*. International Journal of Advance Manufacturing Technology, Vol.20,pp.348-356.
11. Feng, C., Wang, X., Yu, Z. (2002), *Neural Networks Modelling of Honing Surface Roughness Parameter Defined by ISO 13565*, SIAM Journal of Manufacturing Systems, Vol. 21, No.8, pp.1-35